

Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik di Kelurahan Keputih Surabaya

Rochma Septi Pratiwi dan Ipung Fitri Purwanti

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: purwanti@enviro.its.ac.id

Abstrak—Air limbah domestik yang berasal dari rumah tangga menyebabkan berbagai persoalan lingkungan seperti pencemaran Kali Surabaya, peningkatan biaya pengolahan air minum oleh perusahaan daerah setempat dan menurunnya tingkat kesehatan masyarakat. Adanya persoalan ini mendorong terbentuknya suatu sistem pengolahan air limbah yang bersifat terintegrasi. Sistem yang ditawarkan merupakan suatu sistem pengelolaan air limbah domestik yang meliputi penyaluran serta pengolahan air limbah domestik, berupa *grey water* dan *black water*. Pada perencanaan ini, penyaluran air limbah didesain terpisah dengan air hujan dengan tujuan mengurangi resiko kontaminasi air limbah pada tubuh manusia. Penyaluran air limbah ini direncanakan sepanjang 4261.12 meter yang dibagi sebanyak 6 segmen. Saluran air limbah ini akan melayani Kelurahan Keputih dengan periode perencanaan selama 5 tahun. Dengan adanya pengelolaan air limbah domestik ini, diharapkan pencemaran lingkungan dapat dikurangi dan taraf kesehatan masyarakat dapat meningkat.

Kata Kunci—air limbah domestik, pengelolaan air limbah, penyaluran air limbah, perencanaan.

I. PENDAHULUAN

Surabaya merupakan ibukota provinsi Jawa Timur yang memiliki aktivitas padat. Tidak hanya dalam sektor bisnis, jasa dan perdagangan, namun juga dalam bidang pendidikan. Banyaknya kampus perguruan tinggi ternama, baik negeri maupun swasta, menjadi pilihan untuk melanjutkan studi bagi sebagian orang. Padatnya aktivitas tersebut merupakan representasi dari banyaknya orang yang melakukan kegiatan di Surabaya. Semakin banyak orang yang tinggal di Surabaya maka akan semakin tinggi pula kepadatan penduduknya. Ditinjau dari aspek lingkungan, hal ini tentu saja tidak menguntungkan karena berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan pencemaran.

Salah satunya adalah sanitasi perkotaan yang telah menjadi pencemar badan air di Kota Surabaya. Kebiasaan masyarakat buang air besar sembarang, tidak memiliki tangki septik, dan membuang air bekas cucian ke got maupun badan air secara langsung, menjadi penyumbang pencemaran terbesar. Menurut Kepala Badan Lingkungan

Hidup [1], 50% pencemaran yang terjadi di Kali Surabaya berasal dari limbah rumah tangga. Sebagai kota yang memanfaatkan air sungai sebagai air baku untuk air minum, hal ini sangat merugikan karena setiap penambahan beban BOD sebesar 1 mg/l akan menyebabkan kenaikan biaya pengolahan sebesar Rp 9,17/m³ [2].

Tidak hanya itu, sanitasi perkotaan yang tidak dikelola dengan baik juga akan membawa dampak negatif bagi kesehatan [3], buruknya sanitasi perkotaan dapat menyebabkan munculnya berbagai macam penyakit seperti diare, muntaber dan penyakit kulit. Oleh sebab itu, perlu di rencanakan suatu sistem yang terintegrasi untuk mengatasi dan mencegah permasalahan yang ada. Sistem penyaluran dan pengolahan air limbah domestik secara *cluster* merupakan salah satu solusi yang ditawarkan. Dengan adanya sistem ini, diharapkan pencemaran lingkungan dapat dicegah dan taraf kesehatan masyarakat dapat ditingkatkan.

II. GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN

Keputih merupakan salah satu kelurahan yang berada di Kecamatan Sukolilo, Surabaya Timur, dengan ketinggian tanah ± 3 meter di atas permukaan air laut. Kelurahan ini memiliki 40 RT dan 9 RW dengan luas wilayah 1440 Ha. Sebagian besar wilayah Kelurahan Keputih merupakan tambak yang digunakan sebagai mata pencaharian sebagian penduduk setempat. Kelurahan Keputih memiliki curah hujan sebesar 25 mm/tahun dan suhu udara rata-rata (28 – 36) °C. Secara geografis, Kelurahan Keputih berbatasan dengan:

- Batas wilayah sebelah utara: Kelurahan Kejawan Tambak
- Batas wilayah sebelah timur : Laut/ Selat Madura
- Batas wilayah sebelah selatan : Kelurahan Medokan Semampir dan Semolowaru
- Batas wilayah sebelah barat : Kelurahan Klampis Ngasem [4]

III. URAIAN PERENCANAAN

A. Penentuan Debit Air Limbah

Perhitungan debit air limbah berdasarkan pada konsumsi air bersih per orang per hari. Besarnya air bersih yang akan menjadi air limbah tersebut diperkirakan sebanyak 70% hingga

80% dari penggunaan air bersih. Estimasi debit air limbah diperoleh dengan persamaan berikut:

$$1. Q_{ave} \text{ air bersih} = \text{Kebutuhan air bersih per orang} \times \text{Jumlah penduduk} \quad (1)$$

$$2. Q_{ave} \text{ air limbah} = (70-80\%) \times Q_{ave} \text{ air bersih} \quad (2)$$

$$3. Q_{min} = 1/5 \times (P/1000)^{0.2} \times Q_{ave} \quad (3)$$

$$4. Q_{peak} = Q_{ave} \times f_{peak} \quad (4)$$

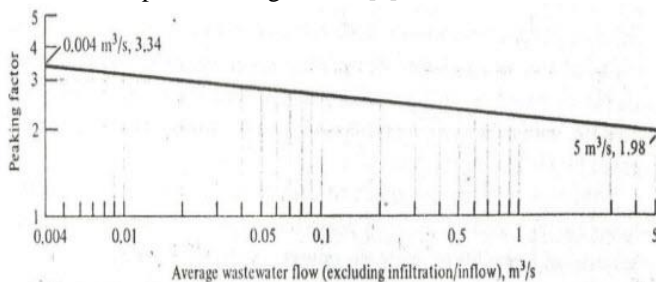
$$5. Q_{ave} \text{ Inf} = \frac{\text{Luas Area (Ha)} \times f_{inf} \left(\frac{m^3}{ha} \text{ hari} \right)}{86400} \quad (5)$$

$$6. Q_{peak} \text{ inf} = Q_{ave} \text{ inf} \times f_{peak} \text{ inf} \quad (6)$$

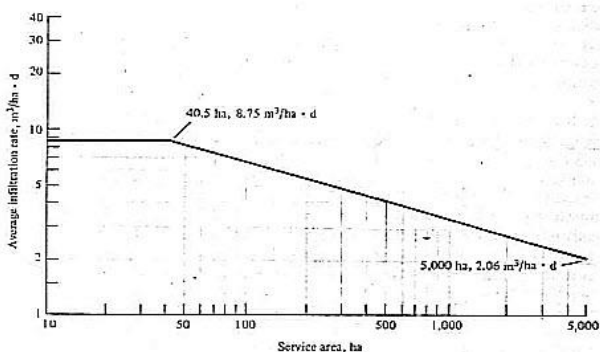
$$7. Q_{Domestik} = Q_{peak} + Q_{infiltrasi} \quad (7)$$

$$8. Q_{total} = Q_{domestik} + \text{non Domestik} \quad (8)$$

Nilai faktor peak didapatkan dari gambar 1 sedangkan faktor infiltrasi didapatkan dari gambar 2[5].



Gambar 1. Grafik Peaking Factor for Domestic Wastewater Flows



Gambar 2. Grafik Average Infiltration Rate Allowance for New Sewer

B. Persamaan Hidrolika

Persamaan hidrolika yang digunakan dalam perhitungan diameter pipa air limbah antara lain:

$$1. Q_{full} = \frac{Q_p}{Q_p / Q_f} \quad (9)$$

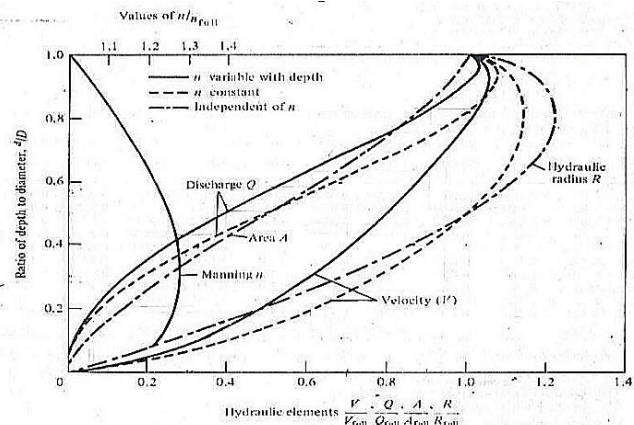
$$2. S = \frac{\Delta H}{L} \quad (10)$$

$$3. Q = \frac{0.3117}{n} [D]^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$4. V_{full} = \frac{Q_{full}}{1/4\pi D^2} \quad (12)$$

$$5. V_{min} = \frac{V_{min}}{V_f} \cdot x V_f \quad (13)$$

Nilai V_{min}/V_f didapatkan dari gambar 3[5].



Gambar 3. Kurva Hidrolik Pipa Air Buangan

C. Pernentuan Diameter Pipa

Perhitungan diameter pipa dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai d/D dengan menggunakan gambar 3 untuk mendapatkan nilai Q_{min}/Q_{full}
2. Menghitung Q_{full} dengan persamaan (7)
3. Menghitung $slope$ medan dengan persamaan (8)
4. Menghitung diameter pipa dengan persamaan (9)
5. Melakukan cek nilai Q_f dengan persamaan (9)
6. Melakukan cek nilai Q_{peak}/Q_{full}
7. Melakukan cek nilai Q_{min}/Q_{full}
8. Menentukan nilai d/D dan V_{min}/V_{full} dengan Gambar 3
9. Menghitung nilai V_{full}
10. Menghitung nilai V_{min}

D. Profil Hidrolis

Profil hidrolis merupakan titik letak penanaman pipa air limbah yang akan dipasang pada jalan. Dengan adanya profil hidrolis, dapat diketahui kedalaman penanaman yang harus di gali pada saat konstruksi dan peletakan serta kebutuhan bangunan pelengkap.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan sistem penyaluran air limbah dimulai dari langkah-langkah berikut:

A. Debit Air Limbah

Debit Air Limbah Domestik

Perhitungan debit air limbah domestik yang dihasilkan oleh Kelurahan Keputih adalah sebagai berikut:

Jumlah penduduk = 23649 orang

$Q_{air \text{ bersih}}$ = 200 liter/orang.hari

$Q_{air \text{ limbah}}$ = 80% $Q_{air \text{ bersih}}$

Faktor peak = 2.4

Faktor infiltrasi = 8.75 m³/ha.hari

Dari persamaan (1) dan (2) didapatkan debit air limbah:

$Q_{ave} \text{ air limbah}$ = 80% $\times Q_{air \text{ bersih}} \times \text{Jumlah penduduk}$
 = 80% $\times 200 \text{ liter/orang.hari} \times 23649 \text{ orang}$

$$= 0.0438 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Debit Air Limbah Non Domestik

Perhitungan debit air limbah domestik yang dihasilkan oleh Kelurahan Keputih adalah sebagai berikut:

$$\Sigma \text{ fasilitas pendidikan} = 47 \text{ unit}$$

$$\Sigma \text{ total murid} = 10323 \text{ murid}$$

$$\Sigma \text{ fasilitas kesehatan} = 4 \text{ unit}$$

$$\Sigma \text{ bed} = 73 \text{ bed}$$

$$\Sigma \text{ fasilitas peribadatan} = 61 \text{ unit}$$

$$Q \text{ air bersih fasilitas pendidikan} = 10 \text{ liter/hari}$$

$$Q \text{ air bersih fasilitas kesehatan} = 200 \text{ liter/hari}$$

$$Q \text{ air bersih fasilitas peribadatan} = 3000 \text{ liter/hari}$$

Debit air limbah non domestik yang dihasilkan adalah:

$$Q \text{ fasilitas pendidikan} = \Sigma \text{ fasilitas} \times \Sigma \text{ total murid} \times Q \text{ air bersih}$$

$$= 47 \text{ unit} \times 10323 \text{ murid} \times 10 \text{ liter/hari}$$

$$= 0.0562 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q \text{ fasilitas kesehatan} = \Sigma \text{ fasilitas} \times \Sigma \text{ bed} \times Q \text{ air bersih}$$

$$= 4 \text{ unit} \times 73 \text{ bed} \times 200 \text{ liter/hari}$$

$$= 0.0007 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q \text{ fasilitas peribadatan} = \Sigma \text{ fasilitas} \times Q \text{ air bersih}$$

$$= 61 \text{ unit} \times 3000 \text{ liter/hari}$$

$$= 0.0021 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q \text{ total} = 0.0562 \text{ m}^3/\text{detik} + 0.0007 \text{ m}^3/\text{detik} + 0.0021 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0.0590 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Sehingga, debit air limbah total adalah:

$$Q \text{ ave total} = Q \text{ total domestik} + Q \text{ total non domestik}$$

$$= 0.0438 \text{ m}^3/\text{detik} + 0.0590 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0.1028 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dari persamaan (4) didapatkan Q_{peak} :

$$Q_{\text{peak}} = Q_{\text{ave}} \times f_{\text{peak}}$$

$$= 0.1028 \text{ m}^3/\text{detik} \times 2.4$$

$$= 0.2466 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dari persamaan (5) didapatkan Q_{peak} :

$$\text{Debit infiltrasi} = \text{Luas area} \times \text{faktor infiltrasi}$$

$$= 24.47 \text{ m}^3/\text{detik} \times 8.75$$

$$= 0.0025 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dengan menggunakan persamaan (7), debit total yang akan disalurkan melalui perpipaan adalah:

$$\text{Debit total } (Q_{\text{total}}) = Q_{\text{peak}} + Q_{\text{inf}}$$

$$= 0.2466 \text{ m}^3/\text{detik} + 0.0025 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0.2491 \text{ m}^3/\text{detik}$$

B. Dimensi Pipa Air Limbah

Perencanaan dimensi air limbah dibuat untuk melayani satu Kelurahan Keputih. Kecepatan minimum tidak diperbolehkan kurang dari 0.6 m/detik dan tidak diperbolehkan lebih dari 2.5 m/detik. Berikut perhitungan dimensi pipa primer air limbah:

1. Ditentukan nilai d/D yang digunakan sebesar 0.8, sehingga dengan menggunakan Gambar 3 didapatkan nilai $Q_{\text{peak}}/Q_{\text{full}}$ sebesar 0.975

$$2. Q_{\text{full}} = \frac{Q_{\text{p}}}{Q_{\text{p}}/Q_{\text{f}}} = \frac{0.2491}{0.975} = 0.2555 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$3. S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{4.00 - 3.00}{4261.12} = 0.0002$$

Agar air limbah dapat mengalir secara hidrolis, maka *slope* diperbesar menjadi 0.2%

$$4. Q_{\text{full}} = \frac{0.3117}{n} [D]^{8/3} S^{1/2}$$

$$0.25 = \frac{0.3117}{0.013} [D]^{8/3} \cdot 0.002^{1/2}$$

$$D = 0.584$$

Digunakan pipa beton dengan ukuran 600 mm.

$$5. Q_{\text{full cek}} = \frac{0.3117}{n} [D]^{8/3} S^{1/2}$$

$$Q_{\text{full cek}} = \frac{0.3117}{0.013} [0.6]^{8/3} \cdot 0.002^{1/2}$$

$$Q_{\text{full cek}} = 0.275 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$6. Q_{\text{p}}/Q_{\text{f}} = \frac{Q_{\text{p}}}{Q_{\text{f}}} = \frac{0.2491}{0.275} = 0.907$$

$$7. Q_{\text{min}}/Q_{\text{f}} = \frac{Q_{\text{min}}}{Q_{\text{f}}} = \frac{0.0389}{0.275} = 0.141$$

8. Menentukan nilai d/D dan $V_{\text{min}}/V_{\text{full}}$ dengan menggunakan Gambar 3. Didapatkan nilai d/D sebesar 0.298 dan nilai $V_{\text{min}}/V_{\text{full}}$ sebesar 0.720

$$9. V_{\text{full}} = \frac{1}{n} \times \frac{1}{4} D^{0.667} \times S^{1/2}$$

$$V_{\text{full}} = \frac{1}{0.013} \times \frac{1}{4} \cdot 0.6^{0.667} \times 0.002^{1/2} = 0.971$$

$$10. V_{\text{min}} = \frac{1}{n} \times R^{0.667} \times S^{1/2}$$

Nilai R didapatkan dari perhitungan berikut:

$$1. d/D_{\text{cek}} = \frac{75}{600} = 0.125$$

$$2. 1/2d = \frac{1}{2} \times 0.6 = 0.3$$

$$3. \text{half full}(d) = d/D_{\text{cek}} \times D \text{ pasaran}$$

$$\text{half full}(d) = 0.125 \times 0.600$$

$$\text{half full}(d) = 0.075$$

$$4. d - 0.5d = d/D_{\text{cek}} - 1/2 d$$

$$d - 0.5d = 0.075 - 0.3$$

$$d - 0.5d = -0.225$$

$$4. a/b = d - 0.5d / 1/2 d$$

$$a/b = -0.225 / 0.3$$

$$a/b = -0.750$$

$$5. \alpha = 2 \times a \cos a/b$$

$$= 2 \times a \cos -0.75$$

$$= 277.18$$

$$6. \beta = 360^\circ - \alpha$$

$$= 82.82$$

$$7. L_{\text{Juring}} = \frac{\beta}{360} \times \frac{1}{4\pi} \times D^2$$

$$L_{\text{Juring}} = \frac{82.82}{360} \times \frac{1}{4(3.14)} \times 0.6^2$$

$$L_{\text{Juring}} = 0.065 \text{ m}^2$$

$$8. L_{\Delta} = 0.5 \times 2 \times \left[\left(\frac{1}{2} d \right)^2 - (d - 0.5d)^2 \right] \times d - 0.5d^2$$

$$L \Delta = 0.5 \times 2 \times [(0.3.)^2 - (-0.225)^2] \times (-0.225)$$

$$L \Delta = -0.045 \text{ m}^2$$

9. Luas Total = Luas Juring + Luas Δ

$$\text{Luas Total} = 0.0065 + (-0.045)$$

$$\text{Luas Total} = 0.020$$

$$10. P = \frac{\beta}{360} \times \pi \times D^2$$

$$P = \frac{82.82}{360} \times 3.14 \times 0.6^2$$

$$P = 0.433$$

$$11. R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0.020}{0.433}$$

$$R = 0.047$$

$$12. V_{\min} = \frac{1}{0.013} \times 0.05^{0.667} \times 0.002^{1/2}$$

$$V_{\min} = 0.44 \text{ m/detik}$$

Karena V_{\min} tidak memenuhi 0.6, maka *slope* saluran harus diperbesar. Perhitungan *slope* baru adalah sebagai berikut:

$$V_{\min} = \frac{1}{n} \times R^{0.667} \times S^{1/2}$$

$$0.6 = \frac{1}{0.013} \times 0.05^{0.667} \times S^{1/2}$$

$$S = 0.004$$

C. Penanaman Pipa

Penanaman pipa disesuaikan dengan *slope* saluran yang telah diperhitungkan agar air limbah dapat mengalir secara gravitasi. Pada pipa primer, penanaman dibagi menjadi 6 segmen. Perhitungan pipa primer 1 ke 2 dengan notasi P1-P2:

$$\text{Elevasi tanah awal} = 4$$

$$\text{Elevasi tanah akhir} = 2$$

$$\text{Panjang pipa (L)} = 576.10 \text{ meter}$$

$$\text{Slope saluran} = 0.004$$

$$\text{Diameter pipa} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Kedalaman awal penanaman} = 1 \text{ meter}$$

Untuk pipa sekunder dan tersier, kedalaman penanaman awalnya adalah 0.75 meter. Hal ini dikarenakan, letak pipa primer harus lebih rendah dari pipa sekunder dan tersier agar aliran air limbah dapat terjadi secara gravitasi.

Elevasi Atas Pipa

$$\text{Awal} = \text{Elevasi tanah awal} - \text{kedalaman awal penanaman}$$

$$= 4 \text{ m} - 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Headloss} = \text{Panjang pipa} \times \text{slope}$$

$$= 576.10 \text{ m} \times 0.004$$

$$= 2.07 \text{ m}$$

$$\text{Akhir} = \text{Elevasi atas pipa awal} - \text{headloss}$$

$$= 3 \text{ m} - 2.07 \text{ m}$$

$$= 0.93 \text{ m}$$

Elevasi Dasar Pipa

$$\text{Awal} = \text{Elevasi atas pipa awal} - \text{diameter pipa}$$

$$= 3 \text{ m} - 0.600 \text{ m}$$

$$= 2.4 \text{ m}$$

$$\text{Akhir} = \text{Elevasi atas pipa akhir} - \text{diameter pipa}$$

$$= 0.93 \text{ m} - 0.600 \text{ m}$$

$$= 0.33 \text{ m}$$

Kedalaman Penanaman

$$\text{Awal} = \text{Elevasi tanah awal} - \text{elevasi dasar pipa awal}$$

$$= 4 \text{ m} - 2.4 \text{ m}$$

$$= 1.6 \text{ m}$$

$$\text{Akhir} = \text{Elevasi tanah akhir} - \text{elevasi dasar pipa akhir}$$

$$= 2 \text{ m} - 0.33$$

$$= 1.67 \text{ m}$$

Elevasi Muka Air

$$\text{Awal} = \text{Elevasi dasar pipa awal} + H_{\text{air}}$$

$$= 2.4 \text{ m} + 0.120 \text{ m}$$

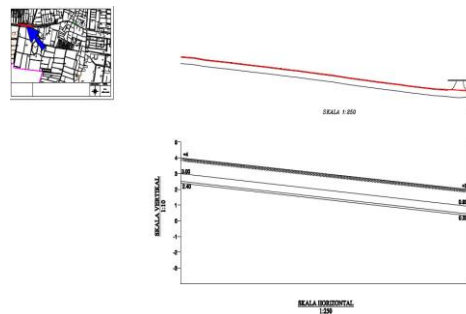
$$= 2.52 \text{ m}$$

$$\text{Akhir} = \text{Elevasi dasar pipa akhir} + H_{\text{air}}$$

$$= 0.33 \text{ m} + 0.120 \text{ m}$$

$$= 0.45 \text{ m}$$

Gambaran profil hidrolis jalur P1-P2 ditunjukkan oleh gambar 4.



Gambar 4. Profil Hidrolis Jalur P1-P2

D. Kebutuhan Manhole

Banyaknya jumlah manhole yang dibutuhkan dalam saluran perpipaan didasarkan pada kondisi eksisting jalan dan diameter pipa yang dipasang. Jumlah *manhole* yang dibutuhkan untuk jalur P1-P2 adalah sebagai berikut:

$$\text{Panjang saluran} = 576.10 \text{ meter}$$

$$\text{Diameter pipa} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar manhole} = 150 \text{ m}$$

Sehingga, jumlah *manhole* yang dibutuhkan adalah:

$$\text{Jumlah manhole} = \text{Panjang saluran} / \text{jarak antar manhole}$$

$$= 576.10 \text{ meter} / 150 \text{ m}$$

$$= 4 \text{ buah manhole}$$

Jenis *manhole* yang digunakan sepanjang jalur P1-P2 adalah *manhole* lurus sebanyak 4 buah.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari sistem penyaluran air limbah domestik antara lain: debit air limbah total yang disalurkan melalui perpipaan air limbah adalah 0.291 m³/detik dengan diameter pipa primer sebesar 600 mm, *slope* pipa yang digunakan agar kecepatan air limbah memenuhi syarat kecepatan minimum adalah 0.4%. Kedalaman penanaman pipa air limbah awal adalah 2.52 m dan kedalaman pipa akhirnya adalah 0.45 m

DAFTAR PUSTAKA

- [1] www.jpnn.com/read/2014/04/23/230114/Limbah-Domestik-Dominasi-Pencemaran-Kali-Surabaya- diakses pada hari Selasa tanggal 3 September 2014 pukul 22.00 WIB
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. *Materi Bidang Air Limbah I Diseminasi dan Sosialisasi Keteknikan Bidang PLP*
- [3] <http://lh.surabaya.go.id/web/wh/?c=main&m=lingperkotaan> diakses pada hari Jum'at tanggal 5 September 2014 pukul 09.00 WIB
- [4] Kelurahan Keputih. 2014. *Monografi Kelurahan Keputih Bulan April-Juni 2014*. Surabaya
- [5] Metcalf & Eddy. 1981. *Wastewater Engineering Collection and Pumping of Wastewater*. Mc Graw Hill: New York